



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2002006352 A

(43) Date of publication of application: 09.01.02

(51) Int. Cl. G02F 1/377  
 H01S 5/026  
 H01S 5/062  
 H01S 5/12  
 H01S 5/125  
 H01S 5/16

(21) Application number: 2000187328

(22) Date of filing: 22.06.00

(71) Applicant: FUJITSU LTD

(72) Inventor: SHIMOYAMA MINEFUMI

## (54) SEMICONDUCTOR VARIABLE WAVELENGTH CONVERSION DEVICE

optical amplification waveguide 5 are integrated monolithically.

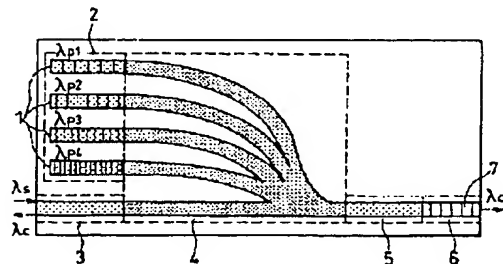
## (57) Abstract:

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a semiconductor variable wavelength conversion device in which a small-size light source with variable wavelength is used and detune dependency of the conversion efficiency is decreased.

SOLUTION: In the device, a wavelength variable laser 2 having a plurality of end face emission type semiconductor laser waveguides 1 having different oscillation wavelengths from one another and having a means to select at least one of the waveguides to oscillate, and a first semiconductor optical amplification waveguide 3 where external optical signals are introduced, are arranged in parallel, a second semiconductor optical amplification waveguide 5 to linearly amplify the light and to carry out the nonlinear interaction in a plurality of laser beams, and an optical coupling waveguide 4 to couple the light from the end face emission type semiconductor laser waveguide 1 and the first semiconductor optical amplification waveguide 3 to the second semiconductor

本発明の原理的構成の説明図



- |                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| 1: 端面出射型半導体レーザ導波路 | 5: 半導体光増幅導波路       |
| 2: 波長可変レーザ        | 6: 波長フィルタ機構を有する導波路 |
| 3: 半導体光増幅導波路      | 7: 分布ブラッグ反射器       |
| 4: 光結合導波路         |                    |

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-6352

(P2002-6352A)

(43)公開日 平成14年1月9日(2002.1.9)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード <sup>*</sup> (参考)
G 0 2 F 1/377		G 0 2 F 1/377	2 K 0 0 2
H 0 1 S 5/026		H 0 1 S 5/026	5 F 0 7 3
	5/062	5/062	
	5/12	5/12	
	5/125	5/125	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2000-187328(P2000-187328)

(22)出願日 平成12年6月22日(2000.6.22)

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72)発明者 下山 峰史

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74)代理人 100105337

弁理士 眞鍋 潔 (外3名)

Fターム(参考) 2K002 AA02 AB12 BA01 CA13 DA06

DA12 EA28 GA10 HA31

5F073 AA21 AA64 AA65 AA74 AA88

AB02 AB06 BA01 CA12

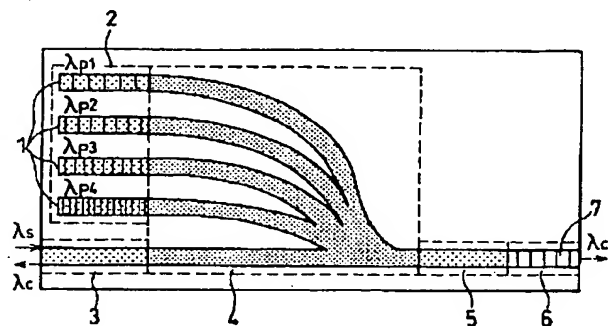
(54)【発明の名称】 半導体可変波長変換装置

(57)【要約】

【課題】 半導体可変波長変換装置に関し、小型の波長可変光源を用いるとともに、変換効率の離調依存性を低減する。

【解決手段】 発振波長が互いに異なる端面出射型半導体レーザ導波路1を複数個配列し、その内の少なくとも任意の一つを選択して発振させる手段を備えた波長可変レーザ2と、外部からの光信号を導入する第1の半導体光増幅導波路3とを並列に配置するとともに、光の線形増幅及び複数のレーザ光間の非線形相互作用を行う第2の半導体光増幅導波路5、及び、端面出射型半導体レーザ導波路1及び第1の半導体光増幅導波路3からの光を第2の半導体光増幅導波路5へ結合させる光結合導波路4とをモノリシックに一体化する。

本発明の原理的構成の説明図



- 1:端面出射型半導体レーザ導波路
- 2:波長可変レーザ
- 3:半導体光増幅導波路
- 4:光結合導波路
- 5:半導体光増幅導波路
- 6:波長フィルタ機構を有する導波路
- 7:分布ブラッグ反射器

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 発振波長が互いに異なる端面出射型半導体レーザ導波路を複数個配列し、その内の少なくとも任意の一つを選択して発振させる手段を備えた波長可変レーザと、外部からの光信号を導入する第1の半導体光増幅導波路とを並列に配置するとともに、光の線形増幅及び複数のレーザ光間の非線形相互作用を行って波長変換光を生成する第2の半導体光増幅導波路、及び、前記端面出射型半導体レーザ導波路及び第1の半導体光増幅導波路からの光を前記第2の半導体光増幅導波路へ結合させる光結合導波路とをモノリシックに一体化したことを特徴とする半導体可変波長変換装置。

【請求項2】 前記第2の半導体光増幅導波路の出力端に、波長フィルタ機構を有する導波路を結合したことを特徴とする請求項1記載の半導体可変波長変換装置。

【請求項3】 上記第1の半導体光増幅導波路の光入力側に、導波路の幅または層厚の少なくとも一方が光入力端面に向かってテーパ状に減少するスポットサイズ変換器を設けたことを特徴とする請求項1または2に記載の半導体可変波長変換装置。

【請求項4】 上記光結合導波路として、多モード干渉型光結合導波路を用いたことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の半導体可変波長変換装置。

【請求項5】 上記光結合導波路として、アレイ導波路回折格子型光結合導波路を用いたことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の半導体可変波長変換装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体可変波長変換装置に関するものであり、特に、波長多重通信に用いる四光波混合による可変波長変換装置における変換効率の離調依存性を低減するための構成に特徴のある半導体可変波長変換装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】近年、インターネット利用者数の急激な増大に伴って、光通信システムの整備が急ピッチで進められている。しかし、動画などの大規模データを必要な遠隔地から受け取るといった新しい形態のサービスも始まりつつあり、さらなる、指数関数的な通信量の増大が見込まれる現在、従来の時分割多重通信システムでは早晩限界に達すると考えられている。

【0003】そこで、このような問題を解決するための手法として、異なる複数の波長の光を一本の光ファイバへ導入する波長多重通信(WDM: Wavelength Division Multiplexing)への移行が叫ばれている所以である。

【0004】この次世代の通信手段と目される波長多重通信システムを大規模に展開するためには、個々のサブネットワーク内で独立な波長による信号の経路制御が行

われることが必要であり、それには幹線からサブネットへの光入出口での波長変換が必要になる。

【0005】特に、幹線の任意波長からサブネット内の所望の波長への、或いは、サブネット内の任意波長から幹線への所望波長へと変換する可変波長型の変換器は、大規模ネットワークの設計を飛躍的に容易なものにすることが期待されている待望の素子である。

【0006】現在、既に実用段階にある波長変換器は、一度光から電気信号への変換を行い、再び、異なる波長の光へと変換するO/E-E/O変換型のものである。しかし、この様なO/E-E/O変換型の波長変換器においては、変換帯域が電子部品によって制限され、大容量通信には不向きである。

【0007】一方、光を電気信号に変換することのない全光型の波長変換器としては、XGM(Cross Gain Modulation)を用いる方法と、3次の非線形相互作用である四光波混合を用いる方法が代表的である。

【0008】この内、XGMを用いる方法においては、 $\lambda_2$ で連続発振しているレーザ素子の光軸に対して垂直方向から $\lambda_1$ の波長の信号レーザ光を入射すると、レーザ素子から入射光の信号波形を有するとともに波長が $\lambda_2$ の変換光が出力されることになり、波長変換と同時に強度変調が行われる。

【0009】この様なXGMを用いる方法の場合、信号光入力によってレーザ素子の発振強度を変調する方式がほとんどであり、変換光の波長はレーザ素子の発振波長 $\lambda_2$ に固定されることになり、任意の波長を任意の波長に変換することが必要なWDMシステム中に組み込むことはできないものである。

【0010】一方、四光波混合を用いる方法は、非常に高速な応答が期待できるという利点があり、また、強度変調信号のみならず、位相変調信号の変換も可能であるという利点もある。この場合、ポンプ光の周波数を $\omega_p$ 、入力信号光の周波数を $\omega_s$ 、波長変換されて出射される出力変換光の周波数を $\omega_c$ とした場合、 $\omega_c = 2\omega_p - \omega_s$ の関係になることが知られている。

【0011】また、四光波混合をDFB(分布帰還型)半導体レーザ内で行うことによって、外部のポンプ光源を必要としない波長変換素子も提案されている(必要ならば、特開平7-296524号公報参照)。

## 【0012】

【発明が解決しようとする課題】しかし、DFB半導体レーザを用いた四光波混合の場合には、DFB半導体レーザの発振波長によって変換される波長が決定されるため、やはり任意の波長の変換光が得られる可変型の波長変換器を実現することができないという問題がある。

【0013】四光波混合を利用して可変型の波長変換器を構成するためには、外部に可動な回折格子を配置した

可変波長レーザの発振光をポンプ光として信号光とともにSOA（半導体光増幅器）に導入して四光波混合を行うことが考えられ、この場合には、非常に高価で、且つ、大型の装置になるという問題がある。

【0014】さらに、半導体光導波路中で四光波混合を利用して波長変換した場合に、入力信号光から出力変換光への変換効率は、一般に信号光周波数 $\omega_s$ とポンプ光周波数 $\omega_p$ との離調 $\Delta\omega$ に大きく依存して、変換帯域を大きく取れないという問題があるので、この事情を図11を参照して説明する。

【0015】図11(a)及び(b)参照

図11(a)に示すように、信号光周波数 $\omega_s$ とポンプ光周波数 $\omega_p$ との離調 $\Delta\omega$ が小さな場合、波長が $\lambda_c$ の変換光の変換効率は比較的大きいが、図11(b)に示すように、離調 $\Delta\omega$ が大きな場合には変換効率が非常に小さくなる。したがって、波長が $\lambda_s$ の入力信号光をポンプ光の波長 $\lambda_p$ を変えることによって任意の波長 $\lambda_c$  ( $1/\lambda_c = 2/\lambda_p - 1/\lambda_s$ )の光に変換する場合に、波長 $\lambda_c$ によって変換効率が異なるため、信頼性の高い変換を行うためには変換帯域を大きく取れなくなる

(必要ならば、H. Kuwatsuka, et. al., IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 33, No. 1, pp. 2002, 1997参照)。

【0016】したがって、本発明は、小型の波長可変光源を用いるとともに、変換効率の離調依存性を低減することを目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】図1は本発明の原理的構成の説明図であり、この図1を参照して本発明における課題を解決するための手段を説明する。

図1参照

上述の目的を達成するためには、本発明においては、発振波長が互いに異なる端面出射型半導体レーザ導波路1を複数個配列し、その内の少なくとも任意の一つを選択して発振させる手段を備えた波長可変レーザ2と、外部からの光信号を導入する第1の半導体光増幅導波路3とを並列に配置するとともに、光の線形増幅及び複数のレーザ光間の非線形相互作用を行う第2の半導体光増幅導波路5、及び、端面出射型半導体レーザ導波路1及び第1の半導体光増幅導波路3からの光を第2の半導体光増幅導波路5へ結合させる光結合導波路4とをモノリシックに一体化したことを特徴とする。

【0018】この様に、ポンプ光源として、発振波長が互いに異なる端面出射型半導体レーザ導波路1を複数個(n個)配列し、その内の少なくとも任意の一つを選択して発振させる手段を備えた波長可変レーザ2を用いることによって、任意の一つのみを選択した場合には、波長変換光 $\lambda_c$ の波長をn通りに変化させることができ、また、任意の二つを選択した場合には、 $nC_2$ 通りに変

化させることができ、合わせて、 $(n + nC_2)$ 通りの異なる波長の波長変換光 $\lambda_c$ を得ることができる。

【0019】特に、任意の二つを選択した場合には、変換効率の離調依存性がほとんど無くなるため、広帯域において常にほぼ均一な強度の波長変換光 $\lambda_c$ を得ることができる(必要ならば、Trefor J. Morgan, et. al., IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 10, No. 10, pp. 1401, 1998参照)。

【0020】また、この様な波長可変レーザ2と、外部からの光信号を導入する第1の半導体光増幅導波路3及び光の線形増幅及び複数のレーザ光間の非線形相互作用を行う第2の半導体光増幅導波路5とをモノリシックに一体化しているので、外部に可動の回折格子等を設ける必要がなく、全体構成を小型化することができるとともに、低コスト化が可能になる。

【0021】また、本発明においては、第2の半導体光増幅導波路5の出力端に波長フィルタ機構を有する導波路6を結合したことを特徴とする。

【0022】この様に、第2の半導体光増幅導波路5の出力端に分布ブラッグ反射器7等からなる波長フィルタ機構を有する導波路6を結合することによって、波長変換光 $\lambda_c$ のみを選択的に透過或いは反射することができる。特に、反射型の波長フィルタ機構を用いた場合には、入出力を同一の光学系で行うことができるので、装置の全体構成を簡略化することができる。

【0023】また、本発明においては、少なくとも第1の半導体光増幅導波路3の光入力側にスポットサイズ変換器を設けることが望ましく、また、光結合導波路4としては、多モード干渉(MMI: Multi-mode Interference)型光結合導波路4或いはアレイ導波路回折格子(AWG: Arrayed Waveguide Grating)型光結合導波路4が望ましい。

【0024】光結合導波路4としては、波長無依存型でn波を均等に結合する導波路6である単純に曲がり導波路によって物理的に結合したY字導波路を用いても良いし、或いは、エバネッセント結合を利用しても良いが、上述のように、波長に依存させて合波させるMMIやAWGを用いることが望ましい。即ち、波長無依存型の結合器を用いた場合には、導波路内の電界分布の境界条件にしたがい本質的に光は $1/n$ になるのに対して、波長依存型のMMI或いはAWGの場合には、1対1の結合が可能になるためである。

【0025】

【発明の実施の形態】ここで、図2乃至図8を参照して本発明の第1の実施の形態を説明するが、まず、図2乃至図5を参照して本発明の第1の実施の形態の製造工程を説明する。なお、各図における下側の図は概略的平面

図であり、上側の図は下側の図におけるA-A' 或いはB-B' を結ぶ一点鎖線に沿った概略的断面図である。図2(a)参照

まず、n型InP基板11上にフォトリソを塗布し、電子ビーム露光装置を用いてn型InP基板11の両端に回折格子12、13を形成するための周期的縞状パターンが形成されるように露光したのち、現像し、次いで、形成した周期的島状のレジストパターン（図示せず）をマスクとしてエッチングを施すことによって、回折格子12、13を形成する。

【0026】なお、回折格子12においては、回折格子の周期が徐々に変化するように形成してレーザアレイ(LD)部とし、その中央部に位相が $\pi/2$ だけシフトした $\lambda/4$ 位相シフト領域（図示を省略）を形成しておく。また、図においてn型InP基板11の左側の回折格子12と平行な領域は、平坦なままとしておき、入力側の半導体光増幅器(SOA)部とする。

【0027】なお、この場合の縞状パターンの周期は、レーザアレイを構成する各レーザ部における発振波長を $\lambda_{p1}, \lambda_{p2}, \lambda_{p3}, \dots, \lambda_{pn}$ とする場合、後の工程でこの領域に形成される導波路の実効屈折率を $n_{eff1}$ としたとき、夫々の領域における縞状パターンの周期を、 $n_{eff1} \times \lambda_{p1}, n_{eff1} \times \lambda_{p2}, \dots, n_{eff1} \times \lambda_{pn}$ に設定する。

【0028】一方、逆側の回折格子13においては、平行な縞状パターンからなる回折格子とし、分布ブラッグ反射器(DBR)を構成する。また、この場合の縞状パターンの周期は、後述するように、透過型フィルタを構成するか或いは反射型フィルタを構成するかによって、周期を決定するものである。

【0029】また、n型InP基板11の回折格子の形成されていない中央の平坦部14は、光結合導波路を形成するMMI(Multi-mode Interference)部、及び、四光波混合を行う出力側の半導体光増幅器(SOA)部を構成する。

【0030】図2(b)参照

次いで、レジストパターンを除去したのち、MOVPE法(有機金属気相成長法)を用いて、バンドギャップ波長 $\lambda_g$ が、例えば、 $1.23\mu\text{m}$ 組成で、厚さが、例えば、 $70\text{nm}$ のn型InGaAsPクラッド層15、バンドギャップ波長 $\lambda_g$ が、例えば、 $1.15\mu\text{m}$ 組成で、厚さが、例えば、 $30\text{nm}$ のn型InGaAsPSCH(Separate Confinement Heterostructure)層16、MQW活性層17、及び、バンドギャップ波長 $\lambda_g$ が、例えば、 $1.15\mu\text{m}$ 組成で、厚さが、例えば、 $100\text{nm}$ のp型InGaAsPSCH層18を順次成長させる。

【0031】なお、この場合のMQW活性層17は、バンドギャップ波長 $\lambda_g$ が、例えば、 $1.3\mu\text{m}$ 組成で、厚さが、例えば、 $10\text{nm}$ のi型InGaAsPバリア

層と、バンドギャップ波長 $\lambda_g$ が、例えば、 $1.78\mu\text{m}$ 組成で、厚さが、例えば、 $5\text{nm}$ のi型InGaAs井戸層とを交互に10ペア成長させたものである。

【0032】図3(c)参照

次いで、CVD法によって厚さ $0.3\mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$ 膜19を堆積させたのち、フォトリソを塗布し、露光・現像することによってDBR部のみが露出するレジストパターン20を形成し、レジストパターン20をマスクとして $\text{SiO}_2$ 膜19の露出部をエッチングし、次いで、レジストパターンを除去したのち、 $\text{SiO}_2$ 膜19をマスクとして、その下の半導体層を、少なくとも、MQW活性層17が完全になくなるまでエッチングする。

【0033】図3(d)参照

次いで、 $\text{SiO}_2$ 膜19をそのまま選択成長マスクとして用いて、再び、MOVPE法によってバンドギャップ波長 $\lambda_g$ が、例えば、 $1.4\mu\text{m}$ 組成で、厚さが、例えば、 $150\text{nm}$ のi型InGaAsP導波層21、及び、バンドギャップ波長 $\lambda_g$ が、例えば、 $1.15\mu\text{m}$ 組成で、厚さが、例えば、 $100\text{nm}$ のp型InGaAsSCH層22を順次成長させる。

【0034】この場合のi型InGaAsP導波層21の組成は、レーザアレイからのポンプ光に対して透明になるようにする必要があり、また、この選択成長工程において、i型InGaAsP導波層21と、MQW活性層17の高さがほぼ一致して、バッドジョイントによって光学結合することになる。

【0035】図4(e)参照

次いで、 $\text{SiO}_2$ 膜19を除去したのち、再び、MOVPE法を用いて、全面に、厚さが、例えば、 $50\text{nm}$ のp型InPクラッド層23、及び、バンドギャップ波長 $\lambda_g$ が、例えば、 $1.3\mu\text{m}$ 組成で、厚さが、例えば、 $50\text{nm}$ のp型InGaAsPコンタクト層24を順次成長させて表面を平坦化する。

【0036】図4(f)参照

次いで、再び、CVD法を用いて $\text{SiO}_2$ 膜（図示せず）を全面に堆積させたのち、全面にフォトリソを塗布し、露光・現像することによって、入力導波路用ストライプ25、レーザ導波路用ストライプ26、27、出力導波路用ストライプ28、及び、MMI部に対応するパターンのレジストパターン（図示せず）を形成し、このレジストパターンをマスクとして、 $\text{SiO}_2$ 膜を選択的にエッチングする。

【0037】次いで、レジストパターンを除去したのち、エタン+水素+微量酸素からなるエタン系のガスを用いたRIE(反応性イオンエッチング)法によって、n型InGaAsPクラッド層15に達するまでエッチングを施すことによって、入力導波路用ストライプ25、レーザ導波路用ストライプ26、27、及び、出力導波路用ストライプ28を形成する。なお、レーザ導波路用ストライプは2本しか図示していないものの、必要

とする波長数に応じた数をレーザ導波路用ストライプとして形成するものである。

【0038】図5 (g) 参照

次いで、 $\text{SiO}_2$  膜をそのまま選択成長マスクとして用いて、MOVPE法によってFeドープInP高抵抗層29を選択成長させることによって、入力導波路用ストライプ25、レーザ導波路用ストライプ26、27、及び、出力導波路用ストライプ28の側部を埋め込む。

【0039】図5 (h) 参照

次いで、 $\text{SiO}_2$  膜を除去したのち、新たなエッチングマスクを用いて、LD&SOA部とMMI部との境、MMI部とSOA部との境、及び、SOA部とDBR部との境においてp型InGaAsPコンタクト層24を選択的エッチングすることによって、夫々の領域の間を抵抗分離する。

【0040】最後に、入力導波路用ストライプ25、レーザ導波路用ストライプ26、27、及び、出力導波路用ストライプ28のSOA部にTi/Pt/Au電極を蒸着させてp側電極30を形成するとともに、n型InP基板11の裏面にAu-Ge/Au電極を蒸着させてn側電極31を形成することによって半導体可変波長変換装置の基本的構成が完成する。

【0041】このような半導体可変波長変換装置において、ポンプ光としてLD&SOA部におけるn個のレーザから任意の一つのレーザを選択することによって、従来の四光波混合と同様に波長変換光を得ることができる。即ち、ポンプ光の周波数を $\omega_p$ 、入力信号光の周波数を $\omega_s$ 、波長変換光の周波数を $\omega_c$ とすると、

$$\omega_c = 2\omega_p - \omega_s$$

の関係のn通りの波長変換光が得られる。

【0042】一方、ポンプ光としてLD&SOA部におけるn個のレーザから任意の二つのレーザを選択した場合には、四光波混合によって、二つのポンプ光の周波数を $\omega_{p1}$ 、 $\omega_{p2}$ 、入力信号光の周波数を $\omega_s$ 、波長変換光の周波数を $\omega_c$ とすると、

$$\omega_c = \omega_{p1} + \omega_{p2} - \omega_s$$

の関係の $2C_n$ 通りの波長変換光が得られることになる。

【0043】図6 (a) 参照

図6 (a) は、二つのポンプ光 $\lambda_{p1}$ 、 $\lambda_{p2}$ に対し、 $\lambda_{p1}$ と $\lambda_{p2}$ との間の波長で、且つ、二つのポンプ光の中間よりの離調の小さな波長 $\lambda_s$ の入力信号光が入射した場合の波長変換光 $\lambda_c$ の波長と光強度の関係を示したものである。

【0044】図6 (b) 参照

図6 (b) は、二つのポンプ光 $\lambda_{p1}$ 、 $\lambda_{p2}$ に対し、いずれかの波長に近い離調の大きな波長 $\lambda_s$ の入力信号光が入射した場合の波長変換光 $\lambda_c$ の波長と光強度の関係を示したものである。この場合、入力信号光 $\lambda_s$ とポンプ光 $\lambda_{p1}$ との離調を大きくすると、ポンプ光 $\lambda_{p2}$ との離調

が小さくなり、一方、入力信号光 $\lambda_s$ とポンプ光 $\lambda_{p2}$ との離調を大きくすると、ポンプ光 $\lambda_{p1}$ との離調が小さくなるので、変換効率の入力信号光 $\lambda_s$ に対する依存性を平坦化することができる。

【0045】即ち、図6 (a) の場合も、図6 (b) の場合も、変換効率はほぼ等しくなるので、変換帯域を広く取ることができる。即ち、同じ波長の入力信号に対して、二つのポンプ光 $\lambda_{p1}$ 、 $\lambda_{p2}$ の波長を適宜選択することによって、 $2C_n$ 通りの任意の波長で且つ安定した強度の波長変換光 $\lambda_c$ を得ることができる。

【0046】また、この第1の実施の形態においては、光結合導波路として、波長依存性を持たせたMMIを用いているので、1対1の結合が可能になり、結合損失を抑えることができる。

【0047】また、波長フィルタ機能を有するDBR部をモノリシックに一体化しているので、四光波混合過程に寄与する4つの光の波数保存則から、波長変換光 $\lambda_c$ 以外に、ポンプ光 $\lambda_{p1}$ 、 $\lambda_{p2}$ と入力信号光 $\lambda_s$ を用いているのが、雑音となるこれらの余分な光が変換信号光 $\lambda_c$ と同じ端面から出射されることがない。

【0048】図7 (a) 参照

図7 (a) は、DBR部を透過型のDBR部とした場合の反射率特性を示す図であり、ポンプ光及び入力信号光の中心波長 $\lambda_p$ に対し、後の工程でこの領域に形成される導波路の実効屈折率を $n_{\text{eff}2}$ としたとき、 $n_{\text{eff}2} \times \lambda_p$ に周期を設定することによって、ポンプ光 $\lambda_{p1} \sim \lambda_{pn}$ 及び入力信号光 $\lambda_s$ を99%以上の反射率で反射して、波長変換光 $\lambda_c$ のみを選択的にDBR部から出射する。

【0049】図7 (b) 参照

図7 (b) は、DBR部を反射型のDBR部とする場合の反射率特性を示す図であり、変換波長帯域の中心波長を $\lambda_c$ とした場合、 $n_{\text{eff}2} \times \lambda_c$ に周期を設定することにより、波長変換光 $\lambda_c$ のみを選択的に99%以上の反射率で反射して入力用SOA部の端部より出射する。

【0050】なお、いずれの場合も、高反射率を持つ波長帯域（ストップバンド）が、透過すべき波長帯と重ならないように、エッチング深さ、即ち、回折格子の光結合係数と、当該部位の長さとの積を決定する必要がある。

【0051】図8 (a) 参照

図8 (a) は、DBR部の反射率設計の説明図であり、DBR部の一例を示すものである。例えば、n型InP基板11に互いに深さの異なる凹凸からなる回折格子13を設けて構成するものであり、その際に、凹部の幅 $w_1 = 1.29 \mu\text{m}$ とするとともに、高さの異なる各回折格子の凸部の幅を夫々、 $w_2 = 1.29 \mu\text{m}$ 、 $w_3 = w_4 = 1.28 \mu\text{m}$ にし、且つ、 $w_2$ にする領域においては各20周期、 $w_3$ にする領域においては各30周期、 $w_4$ にする領域においては100周期になるように周期的凹凸を形成する。この場合、凹部における実効屈折率

が3.335になるのに対して、幅 $w_2$ の凸部における実効屈折率は3.32に、幅 $w_3$ の凸部における実効屈折率は3.31に、幅 $w_4$ の凸部における実効屈折率が3.3となる。

【0052】図8(b)参照

図8(b)は、上記のDBR構造に反射率を伝播マトリックス法で計算した結果を示した図であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ においては95%の反射率を有し、一方、波長 $1.53\mu\text{m}$ においては30%程度の低い反射率となっている。したがって、上記の周期的凹凸の幅及び周期を適宜設定することによって所期の反射特性を実現することができる。

【0053】次に、図9を参照して、本発明の第2の実施の形態を説明するが、光結合導波路としてMMIの代わりにAWG(Arrayed Waveguide Grating)を用いたもので、その他の構成は上記の第1の実施の形態と同様であるので、光結合導波路部のみを説明する。

【0054】図9参照

図9は、本発明の第2の実施の形態の光結合導波路部を構成するAWGの概念的構成図であり、平面図的に示している。図に示すように、複数の光導波路 $41_1 \sim 41_n$ を並列配置したものであり、各光導波路 $41_1 \sim 41_n$ に設けた屈曲部 $42_1 \sim 42_n$ 及び屈曲部 $43_1 \sim 43_n$ の曲率径は、各光導波路 $41_1 \sim 41_n$ において同一である。したがって、入出力端における隣接する光導波路の間隔を $d$ 、中央部における隣接する光導波路の間隔を $D$ とした場合、隣接する光導波路間の長さの差 $\Delta L$ は、

$$\Delta L = 2(D - d)$$

となり、 $n_c$ を光導波路における実効屈折率、 $\lambda$ を導波光の波長とした場合、位相差は $2\pi n_c \Delta L / \lambda$ となる。

【0055】また、光導波路から出射される光の回折角を $\theta$ とした場合、 $n_s$ を出射領域における屈折率、 $m$ を回折次数とした場合、

$$n_c \Delta L + n_s d \sin \theta = m \lambda$$

となる。

【0056】したがって、波長可変レーザから各光導波路 $41_1 \sim 41_n$ へ微小波長差のレーザ光( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ )を入力した場合には、異なった光導波路 $41_1 \sim 41_n$ を通った同一波長の光が干渉して、その結果、波長毎に異なる出射角方向へ選択的に出射させることになる。したがって、AWGに対し、異なる波長の光を異なる入射角で入射させた場合には、異なる波長の光を一つに合わせて出射することができ、多重波長合波器となるので、波長依存型の光結合導波路とすることができる。

【0057】次に、図10を参照して、本発明の光入力側の半導体光増幅器の入力端の構造の一例を説明する。

図10(a)参照

図10(a)は、光導波路の幅を入力端に向かって徐々に狭くなるようにテーパ状にしたスポットサイズ変換器の概略的斜視図であり、 $n$ 型InGaAsPSCH層16/MQW活性層17/ $p$ 型InGaAsPSCH層18からなる光導波路を端面において一定幅部の約 $1/3$ の幅になるようにテーパ状に細くしたものであり、通常のエッチング工程によって形成すれば良い。

【0058】図10(b)参照

図10(b)は、光導波路の層厚が入力端に向かって徐々に薄くなるようにテーパ状にしたスポットサイズ変換器の概略的斜視図であり、 $n$ 型InGaAsPSCH層16/MQW活性層17/ $p$ 型InGaAsPSCH層18からなる光導波路を端面において一定層厚部の約 $1/3$ の厚さになるようにテーパ状に薄くしたものである。

【0059】このようなスポットサイズ変換器を構成するためには、図2(b)における $n$ 型InGaAsPクラッド層15乃至 $p$ 型InGaAsPSCH層18を成長させる際に、光入力側の半導体光増幅器を形成する領域に選択的に $\text{SiO}_2$ 膜を設け、この $\text{SiO}_2$ 膜に一定幅のストライプ状開口と、このストライプ状開口に繋がるとともに光入力端面に向かって広がるテーパ状の開口部を設ければ良く、この様な $\text{SiO}_2$ マスクを用いて結晶成長させれば良い。

【0060】図10(a)及び(b)のいずれのスポットサイズ変換器を用いた場合にも、入射光の結合率を高めることが可能になる。特に、DBR部を反射型とした場合には、波長変換光と外部の光学系との光結合効率を大きくすることが可能になる。

【0061】以上、本発明の各実施の形態を説明してきたが、本発明は、上記の各実施の形態に記載した構成・条件に限られるものではなく、各種の変更が可能である。例えば、上記の各実施の形態においては、多波長光源としてDFB(分布帰還型)レーザを用いているが、DBR(分布ブラッグ反射型)レーザを用いても良いものである。

【0062】また、上記の各実施の形態においては、 $n$ 型InP基板に直接回折格子を形成しているが、 $n$ 型InP基板上に $n$ 型InPバッファ層を設け、この $n$ 型InPバッファ層の表面に回折格子を形成しても良いものである。

【0063】また、上記の各実施の形態においては、InGaAsP光ガイド層を両側に設けているが、InGaAsP光ガイド層は片側だけでも良く、或いは、省略しても良く、また、活性層はMQW活性層に限られるものではなく、バルクのInGaAsP活性層を用いても良いものである。

【0064】また、上記の各実施の形態においては、波長フィルタ機能を有するDBR部をモノリシックに一体



に形成しているが、ハイブリッド的に構成しても良いものである。

【0065】また、上記の各実施の形態においては、光結合導波路部として波長依存型のMMI 或いはAWGを用いているが、必ずしも波長依存型の光結合導波路に限られるものではなく、Y字導波路やエバネッセント結合を利用した波長無依存型の光結合器を用いても良いものである。

【0066】ここで、再び、図1を参照して、本発明の付記を説明する。

図1 参照

(付記1) 発振波長が互いに異なる端面出射型半導体レーザ導波路1を複数個配列し、その内の少なくとも任意の一つを選択して発振させる手段を備えた波長可変レーザ2と、外部からの光信号を導入する第1の半導体光増幅導波路3とを並列に配置するとともに、光の線形増幅及び複数のレーザ光間の非線形相互作用を行って波長変換光を生成する第2の半導体光増幅導波路5、及び、前記端面出射型半導体レーザ導波路1及び第1の半導体光増幅導波路3からの光を前記第2の半導体光増幅導波路5へ結合させる光結合導波路4とをモノリシックに一体化したことを特徴とする半導体可変波長変換装置。

(付記2) 上記端面出射型半導体レーザとして、分布帰還型レーザ或いは分布ブラッグ反射型レーザのいずれかを用いたことを特徴とする付記1記載の半導体可変波長変換装置。

(付記3) 上記第2の半導体光増幅導波路5の出力端に波長フィルタ機構を有する導波路6を結合したことを特徴とする付記1または2に記載の半導体可変波長変換装置。

(付記4) 上記波長フィルタ機構を有する導波路6として、分布ブラッグ反射型導波路を用いたことを特徴とする付記3記載の半導体可変波長変換装置。

(付記5) 上記分布ブラッグ反射型導波路の反射特性を、上記生成した波長変換光を透過し、上記外部からの信号光及び波長可変レーザ2からの光とを反射する特性とすることを特徴とする付記4記載の半導体可変波長変換装置。

(付記6) 上記分布ブラッグ反射型導波路の反射特性を、上記生成した波長変換光を反射し、上記外部からの信号光及び波長可変レーザ2からの光とを透過する特性とすることを特徴とする付記4記載の半導体可変波長変換装置。

(付記7) 上記第1の半導体光増幅導波路3の光入力側に、導波路の幅または層厚の少なくとも一方が光入力端面に向かってテーパ状に減少するスポットサイズ変換器を設けたことを特徴とする付記1乃至6のいずれか1に記載の半導体可変波長変換装置。

(付記8) 上記光結合導波路4として、多モード干渉型光結合導波路を用いたことを特徴とする付記1乃至7

のいずれか1に記載の半導体可変波長変換装置。

(付記9) 上記光結合導波路4として、アレイ導波路回折格子型光結合導波路を用いたことを特徴とする付記1乃至7のいずれか1に記載の半導体可変波長変換装置。

【0067】

【発明の効果】本発明によれば、少なくとも、ポンプ光源として可変波長レーザを用い、可変波長レーザと入力側光増幅器、光結合導波路、及び、四光波混合を行う光増幅器とをモノリシックに一体化しているので、半導体可変波長変換装置の全体構成を大型化することなく、任意の波長の入力信号光を任意の波長の波長変換光へ安定な変換効率で変換することができ、それによって、広帯域な可変波長変換装置を実現することができるので、波長多重通信の実現・発展に寄与するところが大きい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理的構成の説明図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態の途中までの製造工程の説明図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態の図2以降の途中までの製造工程の説明図である。

【図4】本発明の第1の実施の形態の図3以降の途中までの製造工程の説明図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態の図4以降の製造工程の説明図である。

【図6】本発明の第1の実施の形態における変換効率の離調依存性の説明図である。

【図7】本発明の第1の実施の形態のDBR部の反射特性図である。

【図8】DBR部の反射率設計の説明図である。

【図9】本発明の第2の実施の形態の光結合導波路部の概念的構成の説明図である。

【図10】本発明の各実施の形態におけるスポットサイズ変換器の概略的構成図である。

【図11】従来の可変波長変換器における変換効率の離調依存性の説明図である。

【符号の説明】

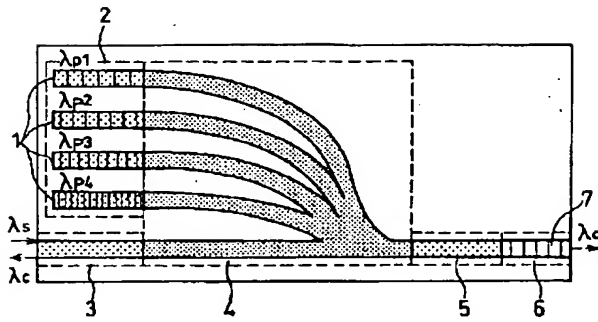
- 1 端面出射型半導体レーザ導波路
- 2 波長可変レーザ
- 3 半導体光増幅導波路
- 4 光結合導波路
- 5 半導体光増幅導波路
- 6 波長フィルタ機構を有する導波路
- 7 分布ブラッグ反射器
- 11 n型InP基板
- 12 回折格子
- 13 回折格子
- 14 平坦部
- 15 n型InGaAsPクラッド層
- 16 n型InGaAsP SCH層



- 17 MQW活性層
- 18 p型InGaAsPSCH層
- 19 SiO<sub>2</sub>膜
- 20 レジストパターン
- 21 i型InGaAsP導波層
- 22 p型InGaAsPSCH層
- 23 p型InPクラッド層
- 24 p型InGaAsPコンタクト層
- 25 入力導波路用ストライプ
- 26 レーザ導波路用ストライプ

【図1】

本発明の原理的構成の説明図

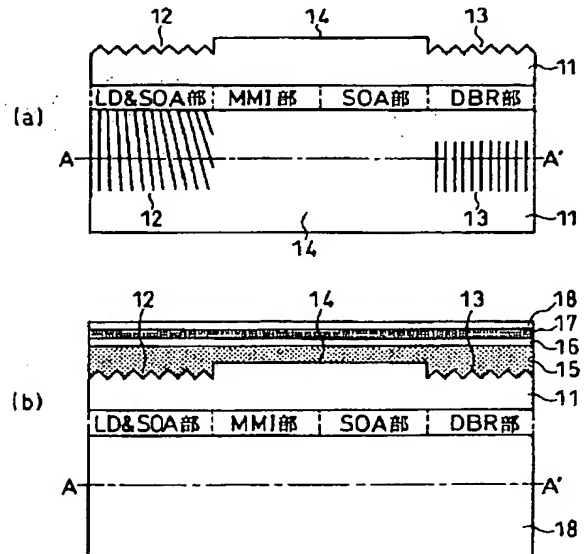


- 1: 端面出射型半導体レーザ導波路
- 2: 波長可変レーザ
- 3: 半導体光増幅導波路
- 4: 光結合導波路
- 5: 半導体光増幅導波路
- 6: 波長フィルタ機構を有する導波路
- 7: 分布ブラッグ反射器

- 27 レーザ導波路用ストライプ
- 28 出力導波路用ストライプ
- 29 FeドープInP高抵抗層
- 30 p側電極
- 31 n側電極
- 41<sub>1</sub> ~ 41<sub>n</sub> 光導波路
- 42<sub>1</sub> ~ 42<sub>n</sub> 屈曲部
- 43<sub>1</sub> ~ 43<sub>n</sub> 屈曲部
- 45 クラッド層
- 46 光入射端面

【図2】

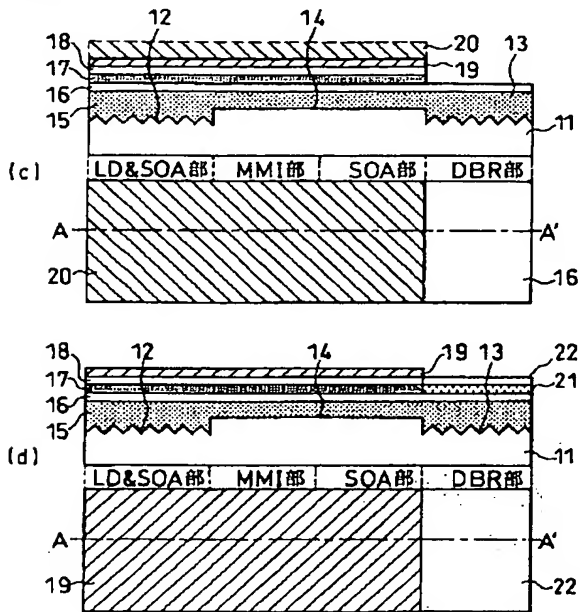
本発明の第1の実施の形態の途中までの製造工程の説明図



- 11: n型InP基板
- 12: 回折格子
- 13: 回折格子
- 14: 平坦部
- 15: n型InGaAsPクラッド層
- 16: n型InGaAsPSCH層
- 17: MQW活性層
- 18: p型InGaAsPSCH層

【図3】

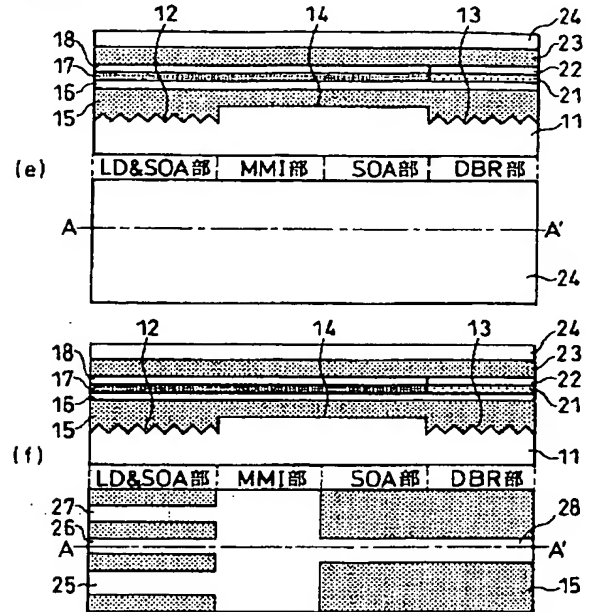
本発明の第1の実施の形態の図2以降の途中までの製造工程の説明図



- |                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| 11: n型InP基板        | 17: MQW活性層             |
| 12: 回折格子           | 18: p型InGaAsPSCH層      |
| 13: 回折格子           | 19: SiO <sub>2</sub> 膜 |
| 14: 平坦部            | 20: レジストパターン           |
| 15: n型InGaAsPクラッド層 | 21: i型InGaAsP導波層       |
| 16: n型InGaAsPSCH層  | 22: p型InGaAsPSCH層      |

【図4】

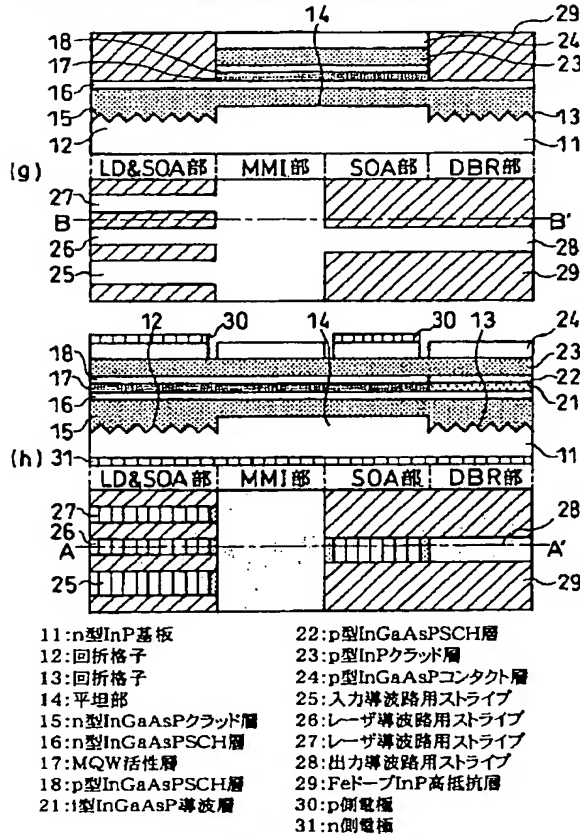
本発明の第1の実施の形態の図3以降の途中までの製造工程の説明図



- |                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| 11: n型InP基板        | 21: i型InGaAsP導波層    |
| 12: 回折格子           | 22: p型InGaAsPSCH層   |
| 13: 回折格子           | 23: p型InPクラッド層      |
| 14: 平坦部            | 24: p型InGaAsPコンタクト層 |
| 15: n型InGaAsPクラッド層 | 25: 入力導波路用ストライプ     |
| 16: n型InGaAsPSCH層  | 26: レーザ導波路用ストライプ    |
| 17: MQW活性層         | 27: レーザ導波路用ストライプ    |
| 18: p型InGaAsPSCH層  | 28: 出力導波路用ストライプ     |

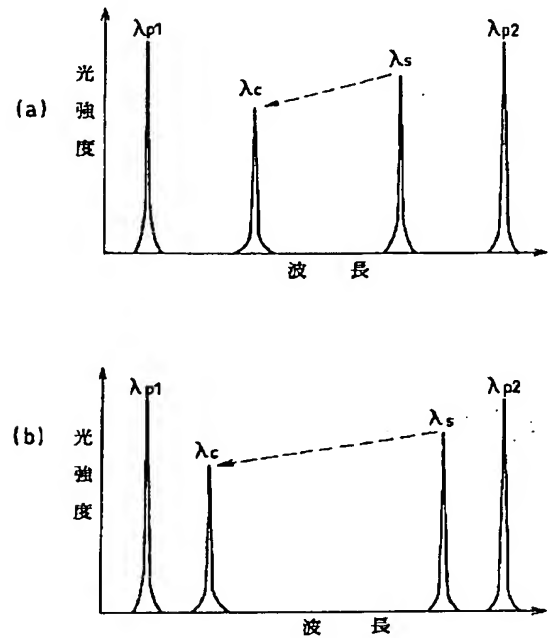
【図5】

本発明の第1の実施の形態の図4以降の製造工程の説明図



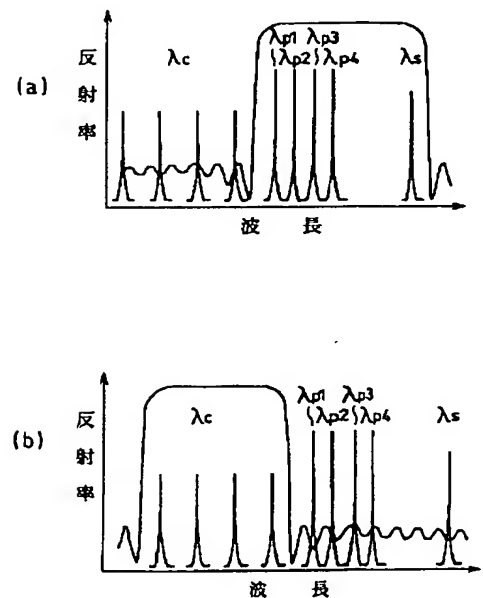
【図6】

本発明の第1の実施の形態における変換効率の離調依存性の説明図



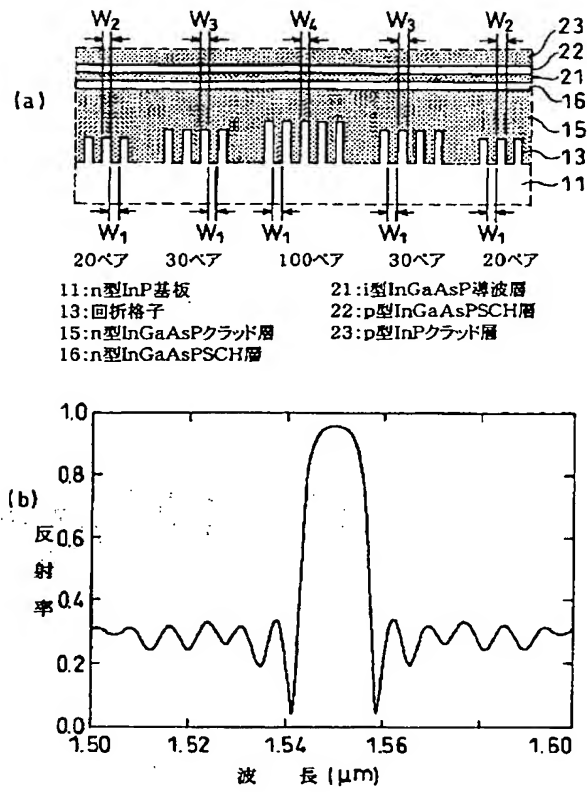
【図7】

本発明の第1の実施の形態におけるDBR部の反射特性図



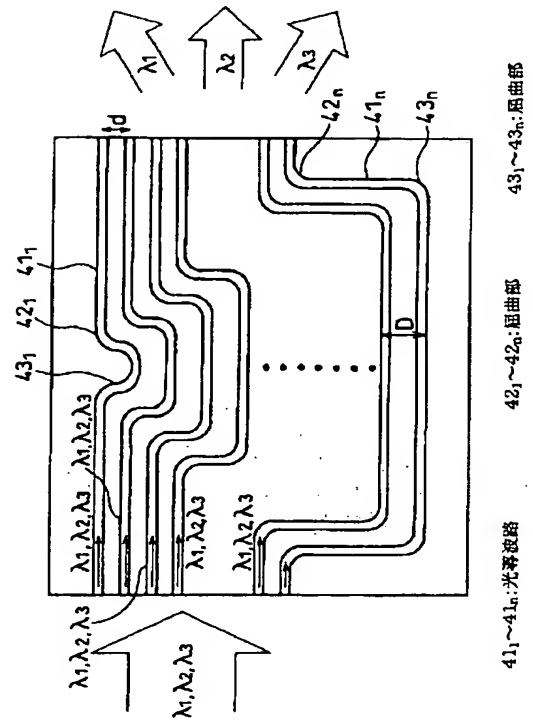
【図8】

DBR部の反射率設計の説明図



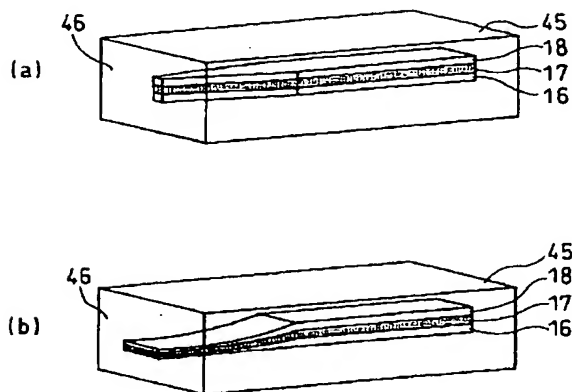
【図9】

本発明の第2の実施の形態の光結合導波路部の概念的構成の説明図



【図10】

本発明の各実施の形態におけるスポットサイズ変換器の概略的構成図

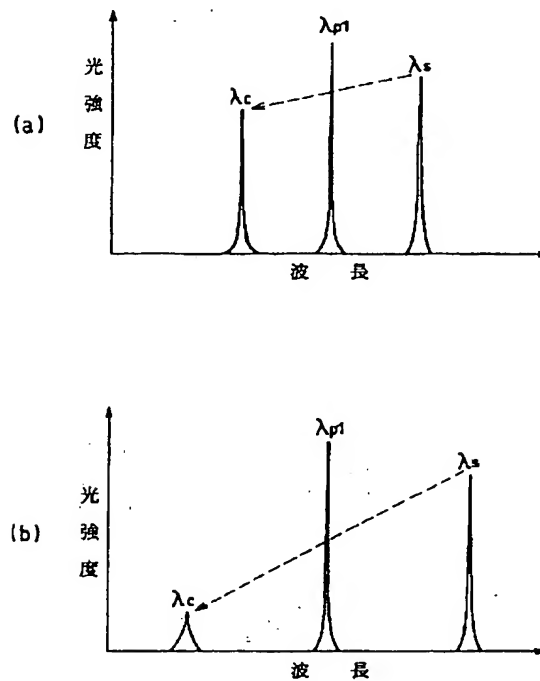


16:n型InGaAsPSCH層  
17:MQW活性層  
18:p型InGaAsPSCH層

45:クラッド層  
46:光入射端面

【図11】

従来の可変波長変換器における変換効率の離調依存性の説明図



フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>

H01S 5/16

識別記号

F I

H01S 5/16

テーマコード\* (参考)